

$M_1 + M_2 + M_1 M_2$, каждая из которых должна решаться S раз (S — количество начальных значений параметров $V_{крэк}$, $n_{пасо}$, выбранных для нахождения глобального минимума). Допустим, область изменения каждой переменной разбивается на три интервала, а $M_1 = 10$, $M_2 = 15$, что позволяет найти вполне удовлетворительное по точности решение исходной задачи. Для такого варианта количество задач нелинейного программирования с двумя переменными примерно в четыре раза меньше, чем число подзадач, которые необходимо решать для модели, содержащей восемь переменных. Отсюда наглядное преимущество предложенного подхода.

Конкретная реализация алгоритма осуществлена для определения перспективного парка пассажирских магистральных самолетов гражданской авиации без учета принимаемости и базирования на сети, содержащей 1930 авиалиний. Результаты просчетов нескольких вариантов выбора подмножеств $X^{(i)}$ показали его хорошую работоспособность.

Список литературы: 1. *Годлевский М. Д.* Метод последовательных приближений при оптимизации комплекса технических средств транспортной системы. — Вестн. Харьк. политехн. ин-та, 1979, № 148. Прикладная механика и процессы управления, вып. 1, с. 64—66. 2. *Дабаян А. В., Годлевский М. Д., Пинаев Е. Г.* Оптимизация перспективного парка пассажирских самолетов гражданской авиации: Тр. ГосНИИГА. Исследование больших систем ГА. 1977, № 149, с. 69—75. 3. *Моисеев Н. Н.* Элементы теории оптимальных систем. — М.: Наука, 1975, — 528 с.

Поступила в редколлегию 20.09.78

УДК 629.734

С. В. ШЕВЧЕНКО

О ЗАДАЧЕ РЕКОНСТРУКЦИИ СЕТИ АВИАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ БАЗ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ ВЕРТОЛЕТНОГО ПАРКА

В районах экспедиционных работ Сибири и Дальнего Востока встает проблема технического обслуживания прикомандированных вертолетов по трудоемким формам регламента. Использование для этих целей существующей сети авиационно-технических баз (АТБ), как правило, ведет к большим убыткам из-за простоев машин в ожидании технического обслуживания (ТО) либо длительных перелетов. Поэтому возникает следующая задача перспективного планирования. Зная запрашиваемый различными министерствами и ведомствами налет часов вертолетов λ -го типа по районам работ, необходимо закрепить машины за базами технического обслуживания и реконструировать сеть АТБ путем строительства ангаров так, чтобы суммарные затраты на перелеты из районов работ в АТБ и обратно, техническое

обслуживание, строительство новых ангаров и суммарные потери прибыли, вызванные прекращением обслуживания заказчика на время проведения ТО, были минимальны. Учитывая различные среднегодовые налеты часов и различные затраты на эксплуатацию вертолетов разных типов, а также то, что вертолет с меньшим взлетным весом может проходить периодическое ТО в ангаре для вертолета с большим взлетным весом (обратное, в общем, невозможно), рассматриваемую задачу можно решать для каждого типа вертолета отдельно. Примем следующие обозначения: H_{ik} — требуемый общий налет часов в i -м районе работ вертолетов λ -го типа; τ_{λ}^n — удельный объем работ по периодическим видам ТО вертолетов; N_j — производственная годовая программа в j -й АТБ; M_j — производственная мощность АТБ; $T_{\lambda j}$ — существующий объем периодического ТО вертолетов λ -го типа; $F_{\lambda j}$ — прирост мощности АТБ по периодическому ТО от строительства ангара; $K_{\lambda j}$ — стоимость сооружения ангара; E_n — нормативный коэффициент экономической эффективности; L_{ij} — среднее расстояние от i -го района работ к j -й АТБ; V_{λ} — средняя скорость вертолета; Φ_{λ} — налет часов, после которого необходимо периодическое ТО по трудоемким формам регламента; c_{λ} — себестоимость летного часа вертолета; π_{λ} — прибыль от одного летного часа производительного полета. Введем логическую переменную

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если вертолеты из } i\text{-го района проходят ТО} \\ & \text{в } j\text{-й АТБ;} \\ 0 & \text{— в противном случае.} \end{cases}$$

Тогда суммарный дополнительный объем периодического ТО

$$\forall \lambda, j: \Delta T_{\lambda j} = \tau_{\lambda}^n \sum_i H_{ik} x_{ij} \quad (1)$$

при дополнительных ограничениях

$$\forall j: \sum_i x_{ij} = 1, \quad x_{ij} \in \{0, 1\}. \quad (2)$$

Затраты на ТО всех вертолетов

$$\forall \lambda: \Theta_{\lambda} = \sum_j (\Delta T_{\lambda j} + T_{\lambda j}) C_{\lambda j}, \quad (3)$$

где $C_{\lambda j}$ — себестоимость приведенной единицы периодического ТО λ -го типа в j -АТБ, причем

$$\forall \lambda, j: C_{\lambda j} = a_{\lambda} + \frac{b_{\lambda} (N_j + \Delta T_{\lambda j})}{(T_{\lambda j} + \Delta T_{\lambda j})^2}. \quad (4)$$

Здесь a_{λ} , b_{λ} — постоянные коэффициенты.

Таким образом, на основании выражений (1), (4) суммарные эксплуатационные затраты на проведение периодического ТО вертолетов по сети АТБ

$$\forall \lambda: \mathcal{E}_\lambda = \sum_j (\tau_\lambda^n \sum_i H_{i\lambda} x_{ij} + T_{\lambda j}) (a_\lambda + b_\lambda (N_j + \tau_\lambda^n \sum_i H_{i\lambda} x_{ij}) / (T_{\lambda j} + \tau_\lambda^n \sum_i H_{i\lambda} x_{ij})^2)$$

при условии (2) и $\forall j: N_j + \tau_\lambda^n \sum_i H_{i\lambda} x_{ij} \leq M_j$.

Рассмотрим дополнительные капитальные вложения в ангарах j -й АТБ. Обозначим суммарные капитальные вложения в строительство $(p-1)$ -го ангара $A_{pj\lambda}$.

Тогда

$$\forall j, \lambda: Y_{pj\lambda} = \begin{cases} 0, & p = 1; \\ (p-1) K_{\lambda j}, & p \geq 2. \end{cases}$$

Введем логическую переменную

$$\forall p, j: y_{pj} = \begin{cases} 1, & \text{если используются капитальные вложения} \\ & A_{pj\lambda}; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Строительство новых ангарах и использование существующих резервов мощности в j -й АТБ регламентируется следующим ограничением*:

$$\forall j, \lambda: \tau_\lambda^n \sum_i H_{i\lambda} x_{ij} \leq \sum_p B_{pj\lambda} y_{pj}.$$

При этом

$$\forall j, \lambda: B_{pj\lambda} = \begin{cases} M_j - N_j, & p = 1; \\ M_j - N_j + (p-1) F_{\lambda j}, & p \geq 2. \end{cases}$$

Суммарные приведенные капитальные вложения на реконструкцию сети АТБ

$$\forall \lambda: W_\lambda = \sum_{i,p} E_n A_{pj\lambda} y_{pj}.$$

Транспортные издержки и потери прибыли при перелете из i -го района работ в j -ю АТБ можно выразить как

$$\forall \lambda: s_{ij\lambda} = 2L_{ij} H_{i\lambda} (c_\lambda + \tau_\lambda) / V_\lambda \Phi_\lambda.$$

Суммарные транспортные затраты с учетом выражения (2) можно представить

$$\forall \lambda: Q_\lambda = \sum_{i,j} s_{ij\lambda} x_{ij}.$$

* Дабаян А. В., Шевченко С. В. О задаче оптимального размещения систем обслуживания технических средств. 5 с. — Депон. УкрНИИТИ, 1981, № 3056, 15 сентября.

Тогда задача приобретает следующий вид: найти

$$\min S_\lambda = \sum \left(\sum_i s_{ij} x_{ij} + \sum_p y_{pj} \left(A_{pj} E_n + \left(T_{\lambda j} + \tau_\lambda^n \sum_i H_{ij} x_{ij} \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \left(a_\lambda + \frac{b_\lambda (N_j + \tau_\lambda^n \sum_i H_{ij} x_{ij})}{(T_{\lambda j} + \tau_\lambda^n \sum_i H_{ij} x_{ij})^2} \right) \right) \right) \quad (5)$$

при ограничениях

$$\forall j: \tau_\lambda^n \sum_i H_{ij} x_{ij} \leq \sum_p B_{pj} y_{pj}; \quad (6)$$

$$\forall i: \sum_j x_{ij} = 1 \quad (7); \quad \forall j: \sum_p y_{pj} \leq 1; \quad (8)$$

$$\forall i, j, p: x_{ij}, y_{pj} \in \{0, 1\}. \quad (9)$$

Задача (5) — (9) представляет собой задачу нелинейного дискретного программирования с выпуклой вниз целевой функцией и линейными ограничениями. Для ее решения применим метод ветвей и границ.

Поступила в редколлегию 04.12.81.

УДК 656

П. М. ГЛАДКИЙ, канд. техн. наук,
П. М. ЗЕЛИНСКИЙ, Ю. В. МАРГАНИЯ,
Н. П. ЧЕРНЫШЕВА

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБ ОПТИМАЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ САМОЛЕТОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ

При перевозке партии различных грузов возникает задача об оптимальном использовании транспортных средств [1]. Рассмотрим эту задачу применительно к авиатранспорту. Предположим, что перевозка осуществляется самолетами одного типа. Тогда необходимое число рейсов

$$n = \left(\sum_{j=1}^m Q_j \right) / \sum_{j=1}^m x_j,$$

где Q_j — общая масса груза j -го вида; x_j — масса груза в каждом самолете; m — количество видов груза в партии.

Желательно так загрузить каждый самолет, чтобы общее число рейсов для перевозки данной партии груза было мини-